

Рис. 2. Схема сборки иммуносенсора для определения овальбумина

из  $\text{HAuCl}_4$  цитратом натрия. НЧ Au имеют сферическую форму со средним размером  $14\text{--}16 \pm 2$  нм (подтверждено результатами просвечивающей электронной микроскопии). Следующим этапом работы было выдерживание белка и коллоидных частиц в различных соотношениях. Подбор соотношения проводили предварительным тестом в титрованном планшете. Он заключался в раститровке антител, введением определенного объема коллоидного золота и введением  $\text{NaCl}$ , для стабилизации золота. Высокие концентрации белка предотвращают коагулирование НЧ Au, изменение окраски при этом не наблюда-

ется. Фиолетовый цвет указывает на недостаток белка, происходит коагулирование коллоидных частиц. На основании полученных данных разработана предварительная сборки иммуносенсора для определения овальбумина (рис. 2).

Таким образом, разработан электрохимический иммуносенсор на основе биоконъюгатов наночастиц золота для определения овальбумина. Подобрано оптимальное соотношение антител к НЧ Au 1:64. Получен анодный сигнал от НЧ Au и их биоконъюгатов при потенциале +1,2 В (формирование оксидной формы НЧ Au).

### Список литературы

1. Daniel M.-C. and Astruc D. // *Chemical Reviews*, 2004. – 104. – P.293–346.
2. K. Sugawara, T. Kadoya, H. Kuramitz, S. Tanaka, *Voltammetric detection of ovalbumin using a peptide labeled with an electroactive compound*, *Anal. Chim. Acta*, 2014. – V.834. – P.37–44.

## АНТИОКСИДАНТНАЯ АКТИВНОСТИ ФЕНОТИАЗИНА И ЕГО ПРОИЗВОДНЫХ

В.С. Валынкина, А.С. Гуменюк

Научные руководители – к.х.н., доцент О.А. Воронова; к.х.н., доцент С.П. Журавков

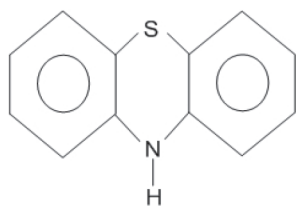
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30, oaa@tpu.ru

Электрохимическое восстановление кислорода одна из важнейших реакций теоретической и прикладной электрохимии.

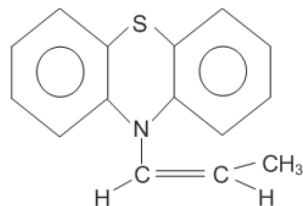
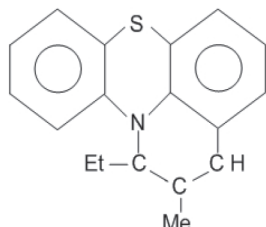
Кислород – основной элемент радикально-цепных процессов окисления. Использование антиокислителей – термостабилизаторов, предназначенных для прерывания данных про-

цессов посредством реагирования с самим кислородом или его продуктами: пероксидными или алкильными радикалами, гидропероксидами – перспективное направление прикладной химии кислорода.

Цель данной работы рассмотреть влияние фенотиазина и его производных на процесс



фенотиазин



цис-10 пропенилфенотиазин

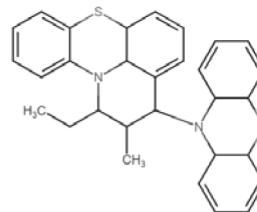


Схема 1.

электровосстановления кислорода в этанольных средах методом вольтамперометрии.

Методика эксперимента заключалась в съемке вольтамперограмм катодного ЭВ  $O_2$  с помощью анализатора «ТА-2». Электрохимическая ячейка заполнена раствором фонового электролита (0,1 Н NaClO<sub>4</sub> водно-этанольный раствор различной концентрации) и опущенными в него индикаторным ртутно-пленочным электродом, хлорид-серебряным электродом сравнения и хлорид-серебряным вспомогательным электродом. Вещества исследовались в трех концентрациях (0,01 %, 0,1 % и 1 %).

Очевидно, что антиоксидантная активность может зависеть как от концентрации исследуемых веществ, так и от соотношения вода-этанол в фоновом электролите. Поэтому, для оценки наиболее активной концентрации производных фенотиазина и концентрации этанола в фоновом электролите в данной работе использовался метод планирования эксперимента: полный факторный эксперимент и метод крутого восхождения.

Для всех исследуемых веществ получено, что модель адекватно описывает процесс, эффект взаимодействия факторов не значим, все коэффициенты линейной модели значимы и имеют знак плюс, что означает увеличение критериев оптимизации с увеличением значений обоих факторов. Следует отметить, что наибольшее влияние оказывает фактор – концентрация производных фенотиазина. Математические модели процесса с учетом значимости коэффициентов:

$$Y = 0,923 + 0,168 X_1 + 0,098 X_2 \quad \text{фенотиазин}$$

$$Y = 0,46 + 0,17 X_1 + 0,065 X_2 \quad \text{цис-10-пропенил-фенотиазин}$$

$$Y = 1,033 + 0,128 X_1 + 0,068 X_2 \quad \text{пиридофенотиазин}$$

$$Y = 0,129 + 0,027 X_1 + 0,022 X_2 \quad \text{димер пропенил-фенотиазина}$$

Известно, что увеличение тока ЭВ  $O_2$  в этаноле обусловлено увеличением растворимости кислорода в нем, а сдвиг потенциала тока ЭВ  $O_2$  в отрицательную область, что свидетельствует об увеличении энергии активации процесса в связи с вязкостью среды. Однако механизм и характер замедленной стадии процесса ЭВ  $O_2$  в этаноле аналогичны водным в связи с идентичностью структуры данных сред, наличием протонов водорода.

В данной работе предполагалось рассмотреть квазиобратимый электродный процесс ЭВ  $O_2$ , осложненный наличием последующей химической реакции взаимодействия производных фенотиазина с активными кислородными радикалами.

В данной работе показано, что в присутствии производных фенотиазина полученные зависимости тока ЭВ  $O_2$  ( $I = f(W^{1/2})$ ) имеют не линейный характер, что указывает на квазиобратимость процесса. Так же наблюдается сдвига потенциала тока ЭВ  $O_2$  в сторону положительных значений при уменьшении скорости развертки потенциала, а зависимость потенциала пика тока ЭВ  $O_2$  ( $E = \lg(W^{1/2})$ ) носит линейный характер, в то время как в отсутствии исследуемых веществ зависимость не линейна.

Таким образом, ЭВ  $O_2$  в присутствии производных фенотиазина предположительно протекает по механизму ЕС (последующей химической реакции взаимодействия антиоксидантов с активными кислородными радикалами) в условиях квазиобратимого процесса, что согласовывается с литературными данными.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ЧНФ в рамках научного проекта №19-53-26001.

## ТВЕРДОФАЗНЫЙ СЕНСОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА (III) В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ МЕТОДОМ СПЕКТРОСКОПИИ ДИФфуЗИОННОГО ОТРАЖЕНИЯ

А.В. Гераскевич

Научный руководитель – к.х.н., доцент Е.В. Ларионова

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина 30*

Несмотря на обилие поверхностных вод в Томской области, большинство из них не пригодны для питьевого водоснабжения. Вследствие этого в качестве источника питьевой воды используются подземные воды. По данным исследования химического состава подземных вод Томска, Томского района и Томской области [1], для всех водоисточников этой местности характерно повышенное содержание ионов железа: от 0,5 до 20,5 мг/дм<sup>3</sup>, что значительно превышает нормативное значение для питьевой воды. Высокое содержание железа в подземных водах обуславливает необходимость постоянного мониторинга концентраций Fe(III) около скважин. Однако большинство существующих методов анализа не обладают достаточной экспрессностью и простотой, что позволяло бы быстро и достоверно определять концентрации железа в полевых условиях. Поэтому на примере методики сорбционно-спектроскопического определения ионов Fe<sup>3+</sup> [2] предложен твердофазный сенсор для определения Fe(III) методом спектроскопии диффузионного отражения, который также может быть использован в качестве тест-метода.

В качестве сорбента для концентрирования ионов железа (III) использовались пластинки для тонкослойной хроматографии. Пластинки состоят из силикагеля, нанесенного на полиэтилентерефталатную основу в виде слоя толщиной 90–120 мкм и закрепленного специальным связующим – силоксаном. Силикагель в качестве сорбента удобен в работе из-за отсутствия набухания и собственной окраски. Также он обладает высокой химической и механической устойчивостью и высокой удельной поверхностью.

В качестве реагента, образующего окрашенный комплекс с ионами Fe<sup>3+</sup>, применялся феррон (7-иодо-8-оксихинолин-5-сульфоновая кислота). Данный реагент высокоселективен по отноше-

нию к определяемому иону и в слабокислой среде образует с железом (III) растворимый в воде комплекс зеленого цвета [3]. Его закрепление на поверхности сорбента затруднено вследствие взаимного отталкивания сульфогрупп реагента и поверхности гидроксильных групп сорбента. Для решения этой проблемы поверхность сенсора предварительно обрабатывалась полигексаметиленгуанидином (ПГМГ).

Закрепление ПГМГ на поверхности силикагеля происходит за счет образования водородных связей между аминогруппами ПГМГ и гидроксильными группами сорбента. Закрепление феррона обеспечивается за счет электростатического взаимодействия между отрицательно заряженными сульфогруппами реагента и свободными аминогруппами ПГМГ [4].

В работе определено необходимое время контакта пластинок с растворами железа (III) различной концентрации. На основании кинетики сорбции Fe<sup>3+</sup> установлено, что сенсор можно использовать в широком диапазоне концентраций (от 0,2 до 20 мг/дм<sup>3</sup>). Время сорбции составляет 20 минут.

Градуировочный график, построенный по пяти точкам в координатах  $R - \lg(C_{\text{Fe(III)}})$ , описывается уравнением:

$$R = -0,490 \lg(C_{\text{Fe(III)}}) \quad (r=0,996).$$

Линейность градуировочной характеристики сохраняется во всем исследуемом диапазоне концентраций.

Разработанный сенсор был применен для определения содержания Fe(III) в подземных водах Томской области. Результаты измерения концентраций железа (III), определенные с помощью твердофазного сенсора, хорошо согласуются со значениями, полученными методом спектрофотометрии в растворах.